

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICH NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : G02F 1/1347		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 96/10210
			(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 4. April 1996 (04.04.96)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE95/01363			(81) Bestimmungsstaaten: BY, JP, LT, PL, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).
(22) Internationales Anmeldedatum: 29. September 1995 (29.09.95)			
(30) Prioritätsdaten: P 44 34 921.1 29. September 1994 (29.09.94) DE			
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHES OPTIKZENTRUM NORDRHEIN-WESTFALEN E.V. (OPTIKZENTRUM NRW) [DE/DE]; Universitätstrasse 142, D-44799 Bochum (DE).			
(72) Erfinder; und			
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): KOHNS, Peter [DE/DE]; Kapellenweg 12, D-53179 Bonn (DE). SCHIRMER, Jörg [DE/DE]; Schöntalweg 34, D-53347 Aifler (DE).			
(74) Anwalt: BUTENSCHÖN, BERGMANN, NÖTH, REITZLE, KRAUS; Mozartstrasse 17, D-80336 München (DE).			

(54) Title: ACHROMATIC PHASE LAGGING COMPONENT AND PROCESS FOR PRODUCING THE SAME

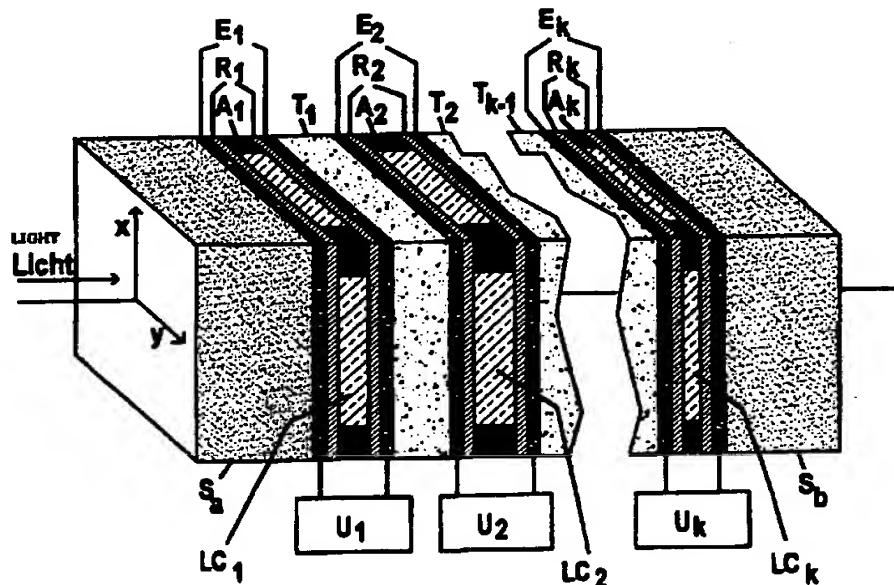
(54) Bezeichnung: ACHROMATISCHES PHASENVERZÖGERUNGSELEMENT UND VERFAHREN ZU SEINER HERSTELLUNG

(57) Abstract

The invention concerns an achromatic phase lagging component in which a plurality of liquid crystal layers are disposed in succession and by means of which in particular the state of polarisation of light at various wavelengths is to be monitored. The achromatic phase lagging component should enable the state of polarization to be uniformly influenced in a broad spectral range and it should be possible to produce said component simply and economically and such that it is sufficiently large. The liquid crystal layers (LC_1 - LC_k) of the phase lagging component are formed from different liquid crystals, the rapid axes of the liquid crystal layers (LC_1 - LC_k) being oriented parallel and/or perpendicular to one another. Furthermore, the liquid crystal layers (LC_1 - LC_k) have different thicknesses (d_i).

(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein achromatisches Phasenverzögerungselement, bei dem mehrere Flüssigkristallschichten nacheinander angeordnet sind und mit dem insbesondere der Polarisationszustand von Licht mit unterschiedlichen Wellenlängen überwacht werden soll. Das achromatische Phasenverzögerungselement soll eine gleichmäßige Beeinflussung des Polarisationszustandes in einem breiten Spektralbereich ermöglichen und in ausreichender Größe einfach und kostengünstig herstellbar sein. Dabei werden die Flüssigkristallschichten (LC_1 - LC_k) des Phasenverzögerungselementes aus unterschiedlichen Flüssigkristallen gebildet, wobei die schnellen Achsen der Flüssigkristallschichten (LC_1 - LC_k) parallel und/oder orthogonal zueinander orientiert sind. Ferner können die Flüssigkristallschichten (LC_1 - LC_k) unterschiedliche Dicken (d_i) aufweisen.



THIS PAGE BLANK (USPTO)

**Achromatisches Phasenverzögerungselement
und Verfahren zu seiner Herstellung**

5 Die Erfundung betrifft ein achromatisches Phasenverzögerungselement, bei dem mehrere Flüssigkristallschichten nacheinander angeordnet sind und mit dem insbesondere der Polarisationszustand von Licht mit unterschiedlichen Wellenlängen überwacht werden kann.

10 Neben der Wellenlänge, der Ausbreitung und Intensität ist die Polarisation eine wesentliche Kenngröße elektromagnetischer Strahlung. Zur Beeinflussung des Polarisationszustandes im Bereich des ultravioletten, sichtbaren und infraroten Lichts werden üblicherweise $\lambda/2$ - und $\lambda/4$ -Platten, die aus doppelbrechenden Kristallen, wie Kalkspat, Kaliumdihydrogenphosphat (KDP) oder Quarz bestehen, verwendet.

15 20 Dabei ist eine einmal geschliffene Platte nur für eine bestimmte Wellenlänge dimensioniert, und die

Beeinflussung beispielsweise des Polarisationszustandes mehrerer Wellenlängen ist nicht möglich.

5 Solche Platten sind auf eine Phasenverzögerung fixiert. Eine aktive Einflußnahme auf die Phasenverzögerung zur Kompensation von Temperatureffekten oder zur Regelung der Phasenverzögerung auf unterschiedliche Werte ist nicht möglich.

10 Lediglich elektrooptische Modulatoren, beispielsweise aus Kaliumdihydrogenphosphat (KDP), gestatten eine Veränderung der Phasenverzögerung. Dabei sind bereits bei kleinen Aperturen Spannungen im kV-Bereich erforderlich, die nicht sicher und nur aufwendig handhabbar sind.

15 20 Eine gleichmäßige Beeinflussung des Polarisationszustandes in einem breiten Spektralbereich erfordert achromatische Phasenplatten, die eine feste Phasenverzögerung zwischen außerordentlichem und ordentlichem Strahl über ein bestimmtes Wellenlängenintervall $[\lambda_{\text{Anfang}}, \lambda_{\text{Ende}}]$ aufweisen.

25 Ein Anwendungsfall hierfür sind astronomische Polarisationsmessungen, bei denen wegen der Lichtschwäche vieler Beobachtungsobjekte breite Spektralbereiche zu integrieren sind, um auswertbare Signale zu erhalten.

30 Eine andere Möglichkeit zur Anwendung ist die Kontrolle des Polarisationszustandes eines mit ultrakurzen intensiven Laserimpulsen erzeugten Weißlichtkontinuums.

35 Achromatische Platten können aus mehreren Schichten von verschiedenen Kristallmaterialien mit gleicher

oder um 90° verdrehter Lage der schnellen Achsen (D. Clarke, Optica Acta 14, 343 (1967)), aus mehreren unterschiedlich dicken und mit bestimmten Winkeln der schnellen Achsen verkitteten Schichten des gleichen Materials (S. Pancharatnam, Proc. Ind. Acad. Sci. A 41, 130 u. 137 (1955)) oder aus mehreren gleichdicken Schichten des gleichen Materials mit unterschiedlichen Orientierungen der schnellen Achsen (C.M. Mc Intyre, S.E. Harris, J. Opt. Soc. Am. 58, 1575 (1968)) hergestellt werden. Dabei ist jedoch nur bei der erstgenannten Methode die Lage der schnellen Achsen des ganzen Elementes unabhängig von der Wellenlänge.

Mit einer Kombination der Verwendung mehrerer Schichten verschiedener Materialien mit gleicher oder um 90° verdrehter Lage der schnellen Achsen und der Verwendung von Schichten unterschiedlicher Dicken, die in bestimmten Winkeln miteinander verkittet sind, sind sogenannte "superachromatische" Platten erhältlich, die über den gesamten sichtbaren Spektralbereich nahezu konstante Phasenverzögerung und Lage der schnellen Achsen aufweisen.

Die so ausgeführten Phasenplatten sind jedoch kostenintensiv und aus technischer Sicht nur mit einem kleinen Durchmesser von wenigen Zentimetern verfügbar.

Dieser kleine Durchmesser verlangt beim Einsatz in der Astronomie an Großteleskopen (Flächenpolarimetrie) die Anordnung des Elementes in einem hoch kolimierten Strahlengang. Dadurch ist bei nicht achsenparallelen Strahlenbündeln der Einfallswinkel zur Flächennormalen des Elementes unvertretbar groß und

5 es wird eine Abweichung von der gewünschten Phasenverzögerung hervorgerufen, die zusätzlich dadurch erhöht wird, daß die einzelnen Elemente herstellungs-technisch bedingt Phasenplatten höherer Ordnung sind (d.h. Verzögerung von z.B. $(m+1/2)\lambda$ mit $m \gg 1$).

10 15 20 25 Von J.E. Stockley, G.D. Sharp, D. Doroski, K.M. Johnson "High-speed analog achromatic intensity modulator", Optics Letters, Vol. 19, No. 10 (1994), S. 758-760, wird ein achromatischer Intensitätsmodulator, basierend auf zwei identischen, zwischen gekreuzten Polarisatoren angeordneten Schichten smektischer Flüssigkristalle beschrieben, die für eine mittlere Wellenlänge des achromatischen Bereichs jeweils als $\lambda/2$ -Platte wirken. Durch Anlegen von Steuerspannungen können die Winkel zwischen schnellen Achsen der Flüssigkristalle und Polarisationsrichtung des Eingangspolarisators geändert werden. Hierdurch ergibt sich für die Kombination aus Flüssigkristallschichten und Polarisatoren ein Verhalten ähnlich dem einer drehbaren, achromatischen $\lambda/2$ -Platte zwischen gekreuzten Polarisatoren. Die Transmission der Kombination für Licht, das in Durchlaßrichtung des Eingangspolarisators schwingt, kann zwischen nahezu 0 % und 100 % geregelt werden.

30 35 Ohne Feststellung der ein- und ausgehenden Polarisationsrichtung durch die Polarisatoren werden die Eigenschaften einer achromatischen $\lambda/2$ -Platte jedoch nicht verwirklicht. So ist es beispielsweise nicht möglich rechtsdrehend zirkular polarisiertes Licht in linksdrehend polarisiertes Licht zu überführen. Auch die Herstellung einer achromatischen $\lambda/4$ -Platte, beispielsweise zur Überführung linear polarisierten Lichts in zirkular polarisiertes Licht ist basierend

auf dem in obiger Veröffentlichung beschriebenen Gerät nicht möglich.

5 Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein achromatisches Phasenverzögerungselement zu schaffen, das eine gleichmäßige Beeinflussung des Polarisationszustandes in einem breiten Spektralbereich ermöglicht und in ausreichender Größe einfach und kostengünstig herstellbar ist.

10 Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 genannten Merkmale für die Vorrichtung und des Anspruchs 14 für das Verfahren gelöst.

15 Die Flüssigkristalle, die bevorzugt verschiedene, nematische Flüssigkristalle sind, werden in mehreren Schichten so angeordnet, daß die schnellen Achsen gleich oder orthogonal (90°) orientiert sind.

20 Aufbauend auf bekannten Technologien, können solche Phasenverzögerungselemente preiswert und mit großer Apertur hergestellt werden.

25 Eine Verwendung eines erfindungsgemäß ausgebildeten Phasenverzögerungselementes ist als Phasenmodulator, Polarisationsanalysator (in Verbindung mit einem nachgeordneten Polarisator) und nach Ergänzung mit zwei vor und nachgeschalteten Polarisationsfiltern 30 als Intensitätsmodulator möglich.

35 Die Ordnung m der einzelnen Schichten kann durch Auswahl geeigneter Flüssigkristalle kleingehalten werden und dadurch der nutzbare Öffnungswinkel entsprechend groß ausfallen. Die zusätzlich angeordneten elek-

trisch leitenden Elemente, zwischen denen die Flüssigkristallschichten liegen, ermöglichen durch das Anlegen einer relativ niedrigen Spannung eine Regelung der Phasenverzögerung für jede Schicht gesondert. Dies kann für eine Durchstimmung der Phasenverzögerung des gesamten Elementes von einem Maximalwert bis nahezu Null genutzt werden. Außerdem ist eine Kompensation von Umgebungseinflüssen (z.B. Änderung der Doppelbrechung durch Temperaturschwankungen) möglich.

Die erfindungsgemäß ausgebildeten Phasenverzögerungselemente bieten zu den herkömmlichen Phasenplatten aus kristallinen Materialien eine nahezu universell einsetzbare Alternative, wobei die Schichtdicken, die Schichtanzahl und die ausgewählten Flüssigkristalle für den speziellen Anwendungsfall optimiert werden können.

Die Achromasie der Phasenverzögerungselemente wird durch eine Kombination mehrerer Flüssigkristallschichten ($k=\text{Anzahl}$) bestimmt.

Dabei können die Dicken und die Anzahl der einzelnen Flüssigkristallschichten mathematisch bestimmt werden. Für die gewünschte Phasenverschiebung δ (in rad), z.B. $\delta=\pi$ für eine $\lambda/2$ -Platte, und $\Delta n_i(\lambda)$ die wellenlängenabhängige Doppelbrechung der i -ten Flüssigkristallschicht ($i=1, 2, \dots, k$) wird das gewünschte Wellenlängenintervall $[\lambda_{\text{Anfang}}, \lambda_{\text{Ende}}]$ bevorzugt äquidistant in $k-1$ Teile $[\lambda_i, \lambda_{i+1}]$ geteilt. Für diesen Fall besitzt das folgende Gleichungssystem (1.1 - 1.k) für Flüssigkristalle mit unterschiedlicher Dispersion der Doppelbrechung stets eine Lösung (d_1, \dots, d_k):

$$\Delta n_1(\lambda_1) * d_1 + \Delta n_2(\lambda_1) * d_2 + \dots + \Delta n_k(\lambda_1) * d_k = \delta * \lambda_1 / 2\pi \quad (1.1)$$

$$\Delta n_1(\lambda_2) * d_1 + \Delta n_2(\lambda_2) * d_2 + \dots + \Delta n_k(\lambda_2) * d_k = \delta * \lambda_2 / 2\pi \quad (1.2)$$

...

$$\Delta n_1(\lambda_k) * d_1 + \Delta n_2(\lambda_k) * d_2 + \dots + \Delta n_k(\lambda_k) * d_k = \delta * \lambda_k / 2\pi \quad (1.k)$$

5

Dabei können die Werte d_i positiv oder negativ sein.

Die Dicke der i -ten Flüssigkristallschicht ist der absolute Betrag von d_i . Für den Fall, daß d_i positiv ist, wird die i -te Schicht parallel zur x -Achse (vertikale Achse) und im gegenteiligen Fall parallel zur y -Achse (horizontale Achse) ausgerichtet. Für diesen Fall wird die gewünschte Phasenverschiebung δ für die ausgewählten Wellenlängen $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k$ genau erreicht.

15 Je feiner die Unterteilung des Wellenlängenintervalls $[\lambda_{\text{Anfang}}, \lambda_{\text{Ende}}]$ gewählt wird, um so besser ist die Achromasie des Elementes. Dies ist jedoch mit steigender Anzahl der Flüssigkeitkristallschichten verbunden.

20 Ein Phasenverzögerungselement mit den elektrisch leitenden Elektroden besitzt die Möglichkeit zur Änderung der Phasenverzögerung mit geeigneten Wechselspannungen. Oberhalb der Ansprechspannung gilt in 25 einem geeigneten Intervall:

$$\Delta n_i(\lambda, v_i) = \Delta n_i(\lambda, v_i=0) * (\text{const}_{i,1} - \text{const}_{i,2} * v_i),$$

30 wobei v_i die Amplitude der Wechselspannungen der i -ten Schicht ist.

Mit der Wahl geeigneter Spannungen lassen sich Lösungen des Gleichungssystems (1.1 - 1.k) für verschiedene Phasenverzögerungen δ finden, ohne daß die

5 Schichtdicken d_i oder Flüssigkristallschichten geändert werden müssen. Aufgrund der kleinen Schichtdicken sind nur geringe Spannungen im Volt-Bereich erforderlich, um ausreichend große Veränderungen zu bewirken.

10 Mit einem geeigneten Regelkreis für die angelegte Spannung an der jeweiligen Schicht können im Gegensatz zu den bekannten kristallinen Phasenplatten Abweichungen von den Sollwerten für die Phasenverzögerung, die durch Fertigungstoleranzen oder den Temperatureinfluß hervorgerufen werden, kompensiert werden. Zusätzlich ist eine gezielte Durchstimmung der Phasenverzögerung möglich. Es kann beispielsweise ein 15 Element mit der Phasenverzögerung π zu einem neutralen Element verstimmt werden, da bei hohen Wechselspannungsamplituden die Doppelbrechung der Flüssigkristallschichten verschwindet. Bei gezieltem Senken der jeweiligen Wechselspannungsamplitude wird die 20 Phasenverzögerung des gesamten Phasenverzögerungselementes eingeschaltet, wobei sie bei kleiner bis verschwindender Amplitude ihren maximalen Wert annimmt.

25 Herstellungsverfahren für mehrschichtige Flüssigkristallzellen sind von Display-Anwendungen ausreichend bekannt (US 42 60 224, US 44 31 270). Das erfindungsgemäße Phasenverzögerungselement unterscheidet sich jedoch dadurch, daß die einzelnen Flüssigkristalle parallel in den einzelnen Schichten ausgerichtet sind 30 und keine "Twist"-Anordnung vorliegt. Je nach den optischen Eigenschaften der für die einzelnen Schichten verwendeten Flüssigkristalle, sind auch die Dicken der Schichten zu bestimmen. Hierbei kann das Gleichungssystem (1.1 - 1.k) herangezogen werden.

5 Die zwischen den Flüssigkristallschichten angeordneten Trennschichten sind wie die Substrate aus optisch hochwertigem Material (z.B. Quarzglas), um eine über die gesamte Apertur gleichmäßige Schichtdicke, Freiheit von Spannungsdoppelbrechung und Wellenfrontverzerrung bei geringen Verlusten zu gewährleisten.

10 15 Der ausnutzbare Durchmesser des Phasenverzögerungselementes kann mit den vorhandenen Herstellungstechnologien für Flüssigkristallanzeigen, bei definierter und gleichmäßiger Dicke der einzelnen Flüssigkristallschichten ohne weiteres im Bereich von 10 cm liegen, womit gegenüber der aufwendige und hohe Qualitätsansprüche erfordernden Herstellung von kristallinen Verzögerungselementen eine wesentlich kostengünstigere und flexiblere Fertigung möglich ist.

20 25 30 Im Gegensatz zu Grenzen, die bei der Verwendung doppelbrechender kristalliner Materialien (Verfügbarkeit von ausreichend großen und reinen Kristallen) und deren Bearbeitbarkeit (Polierbarkeit bei exakter Schichtdicke) bestehen, sind Flüssigkristalle in vielfältiger Form bekannt und einsetzbar. So sind beispielsweise in Landolt-Börnstein, "Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology", New Series, Group IV: Macroscopic Properties of Matter, Vol. 7a-d: Liquid Crystals, ed. J. Thiem, Springer, Berlin/Heidelberg (1992/1993) ca. 50.000 bekannte Flüssigkristalle aufgeführt. Mit dem auf organischen Komponenten basierenden Aufbau der Flüssigkristalle ergeben sich neben den bereits bekannten auch weitere Möglichkeiten zur Synthese weiterer geeigneter Flüssigkristalle.

Nachfolgend soll die Erfindung an Hand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden.

Dabei zeigt:

gewünschte Dickenmaß d_i für die i -te Flüssigkristallschicht. Der gleiche Abstand wird auch für die gegenüberliegenden Flächen der Orientierungsschicht R_i mit dem jeweiligen Abstandshalter A_i vorgegeben.

5

Diese Orientierungsschichten R_1 bis R_k , die die Ausrichtung der Flüssigkristalle in den jeweiligen Flüssigkristallschichten LC_1 bis LC_k bestimmen, sind bevorzugt aus gebürstetem Polyimid gebildet. Die Dicke dieser Orientierungsschichten R_1 bis R_k liegt zur Gewährleistung eines hohen Transmissionsgrades im Bereich von ca. 100 nm. Die Reibrichtung ist für die jeweils gegenüberliegenden Orientierungsschichten R_i parallel. Die jeweilige Reibrichtung eines Paares folgt entweder der in der Figur 1 eingezeichneten x-Achse oder y-Achse, je nach dem mit dem Gleichungssystem (1.1 - 1.k) für die betreffende Flüssigkristallschicht LC_i ermittelten Ergebnis.

20

Genau wie die Reibrichtung und damit die Orientierung der Flüssigkeitkristallschichten LC_i , wird auch die Dicke der jeweiligen Flüssigkristallschichten LC_i in Abhängigkeit von den optischen Eigenschaften der für die Schicht verwendeten Flüssigkristalle und dem ausgewählten Spektralbereich mit genanntem Gleichungssystem (1.1 - 1.k) bestimmt. Dabei liegt auch die Dicke der Flüssigkristallschichten LC_i im μm -Bereich.

25

Die verwendeten Flüssigkristalle können den jeweiligen Anforderungen entsprechend ausgewählt werden.

Zur Kompensation von Temperaturschwankungen, Fertigungstoleranzen oder Durchstimmung der Phasenverzöge-

5 rung δ können Steuerspannungen U_i an das jeweilige Paar transparenter Elektroden E_i angelegt werden, die gegebenenfalls mit einem nicht dargestellten Steuer- oder Regelkreis beeinflußbar sind. Zur Unterdrückung elektrochemischer Reaktionen werden Wechselspannungen von ca. 1 kHz ohne Gleichstrom-Offset eingesetzt.

10 Als Material für die Elektroden E_i kommt in Schichtdicken im Bereich von 5-150 nm, bevorzugt von 10 - 100 nm, aufgedampftes Indium-Zinn-Oxid zum Einsatz, um eine hohe Transmission vom Bereich des ultravioletten bis zum infraroten Spektralbereich zu sichern.

15 20 In der Figur 3 ist ein Beispiel einer rechnerisch ermittelten Phasenverzögerung δ eines zweischichtigen Phasenverzögerungselementes mit den Flüssigkristallen NP-5, Hersteller Merck Chemikalien, Deutschland, und RO-TN-403, Hersteller BDH chemicals, England, und in Figur 2 ein Beispiel für eine Platte aus Quarz und Magnesiumfluorid dargestellt.

25 Die notwendigen Doppelbrechungsdaten für die Flüssigkristalle wurden Shin-Tson Wu, Phys. Rev. A 33, 1270 (1986) und S.T. Wu, A.M. Lackner, U. Efron, Appl. Opt. 26, 3441 (1987) entnommen.

30 Die Figur, Dicken und Doppelbrechung für Quarz und Magnesiumfluorid sind K. Serkowski, "Methods of Experimental Physics", ed. N. Carleton, Academie Press York/London, Vol. 12A, 361 (1974) entnommen.

Die Schichtdicke für NP-5 beträgt 4,6 μm , und für RO-TN-403 beträgt sie 6,5 μm . Dies entspricht bei einer

Wellenlänge von 750 nm einer Ordnung von $m=1$ für beide Flüssigkristallarten.

Die entsprechende Kristallplatte weist bei 500 nm eine Ordnung von $m=6$ für Magnesiumfluorid mit einer Dicke von 0,262 mm und eine Ordnung von $m=5$ für Quarz mit einer Dicke von 0,304 mm auf.

Daraus ergibt es sich, daß der nutzbare Öffnungswinkel bei Verwendung geeigneter Flüssigkristalle gegenüber den Kristallplatten entscheidend verbessert wird. Die Rotverschiebung des achromatischen Bereichs ist im Falle des betrachteten Flüssigkristallpaars durch das Kreuzen der Dispersionskurven der Doppelbrechung bei etwa 750 nm für die Flüssigkristalle und bei etwa 500 nm für Quarz und Magnesiumfluorid begründet.

Eine Veränderung/Verschiebung des achromatischen Wellenlängenbereiches lässt sich auch mit der Verwendung anderer Flüssigkristalle erreichen.

Wie in diesem Beispiel gezeigt, sind unterschiedliche Paare bzw. auch eine Mehrzahl von Flüssigkristallen mit sehr unterschiedlichen Dispersionen der Doppelbrechung erhältlich, um beim Achromatisieren mit der beschriebenen Methode die Ordnung m der einzelnen Schichten und so die Winkelabhängigkeit der Phasenverzögerung gegenüber den herkömmlichen in der Kristallogistik verwendeten Paaren Quarz und Magnesiumfluorid, sehr zu verringern.

Eine weitere Verbesserung der Achromasie eines erfundungsgemäßen Phasenverzögerungselementes lässt sich mit neu zu synthetisierenden Flüssigkristallen errei-

chen, die neben der prominenten Absorption im Ultravioletten eine weitere prominente Absorption im nahen Infraroten aufweisen. Die Dispersion der Doppelbrechung mit der Wellenlänge dieser Flüssigkristalle im Sichtbaren weicht von dem normalen Verhalten (bei zunehmender Wellenlänge streng monoton fallend ohne Wendepunkt) dahingehend ab, daß entweder die Doppelbrechung im Roten ansteigt oder ein Wendepunkt vorhanden ist. In beiden Fällen läßt sich durch Kombination mit einer herkömmlichen Flüssigkristallschicht eine bessere Anpassung an den optimalen Verlauf (Doppelbrechung proportional zu λ , vgl. Gleichungssystem (1.1 - 1.k)) erreichen.

15 Eine weitere Verbesserung der Achromasie durch Hintereinanderschaltung mehrerer der beschriebenen Elemente mit unterschiedlichen Orientierungen der schnellen Achsen, basierend auf den von Pancharatnam in Proc. Ind. Acad. Sci. A 41, 130 u. 137 (1955) und Mc Intyre/Harris in J. Opt. Soc. Am. 58, 1575 (1968) vorgeschlagenen Vorgehensweisen, ist ebenfalls möglich. Dabei ist jedoch zu beachten, daß bei einer Änderung der Soll-Verzögerung von z.B. $\lambda/2$ auf $\lambda/4$ neben den Phasenverzögerungen der einzelnen Flüssigkristallschichten, die ja über die angelegte Wechselspannung regelbar sind, auch die Orientierungen der schnellen Achsen zueinander geändert werden müssen. Dadurch wird entweder die Möglichkeit der Regelung der Phasenverzögerung verloren, oder es muß jedes Element einzeln exakt mechanisch justiert werden können.

20

25

30

Patentansprüche

5 1. Achromatisches Phasenverzögerungselement mit mehreren Flüssigkristallschichten, dadurch gekennzeichnet, daß die Flüssigkristallschichten (LC_1 - LC_k) aus unterschiedlichen Flüssigkristallen gebildet sind, wobei die schnellen Achsen der Flüssigkristallschichten (LC_1 - LC_k) parallel und/oder orthogonal zueinander orientiert sind.

10 2. Achromatisches Phasenverzögerungselement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Flüssigkristallschichten (LC_1 - LC_k) unterschiedliche Dicken (d_i) aufweisen.

15 3. Achromatisches Phasenverzögerungselement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Flüssigkristallschichten (LC_1 - LC_k) von Orientierungsschichten (R_1 - R_k) eingefaßt sind.

20 4. Achromatisches Phasenverzögerungselement nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die im Strahlengang des Lichtes äußeren Flüssigkristallschichten (LC_1) und (LC_k) und die Orientierungsschichten (R_1) und (R_k) auf Substraten (S) aufgebracht sind.

5. Achromatisches Phasenverzögerungselement nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Orientierungsschichten (R_1-R_k) und Flüssigkristallschichten (LC_1-LC_k) zwischen transparenten, leitfähigen Elektroden (E_1-E_k) angeordnet sind.

10

6. Achromatisches Phasenverzögerungselement nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß transparente Elemente (T) zwischen den Flüssigkristallschichten (LC_1-LC_k), den Orientierungsschichten (R_1-R_k) und den leitfähigen Elektroden (E_1-E_k) angeordnet sind.

15

7. Achromatisches Phasenverzögerungselement nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Orientierung der Flüssigkristallschichten (LC_1-LC_k) durch Reiben der Orientierungsschichten (R_1-R_k) in einer bestimmten Richtung vorgegeben ist.

20

8. Achromatisches Phasenverzögerungselement nach wenigstens einem der Ansprüche 3 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Orientierungsschichten (R_1-R_k) aus gebürstetem Polyimid gebildet sind.

25

30

9. Achromatisches Phasenverzögerungselement nach wenigstens einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die leitfähigen Elektroden (E_1-E_k) auf den Substraten (S) und den transparenten Elementen (T) aufgebracht sind.

10. Achromatisches Phasenverzögerungselement nach einem der Ansprüche 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die leitfähigen Elektroden (E_1-E_k) aufgedampftes Indium-Zinn-Oxid sind, an die Steuerspannungen anlegbar sind.

15. 11. Achromatisches Phasenverzögerungselement nach wenigstens einem der Ansprüche 5 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß Wechselspannungen ohne Gleichstrom-Offset anlegbar sind.

20. 12. Achromatisches Phasenverzögerungselement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke der Flüssigkristallschichten (LC_1-LC_k) mit zwischen den Orientierungsschichten (R_1-R_k) angeordneten Abstandshaltern (A) vorgegeben ist.

30. 13. Achromatisches Phasenverzögerungselement nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Abstandshalter (A) aus Glasfasern, Mylarfolien oder aufgedampftem Quarzglas gebildet sind.

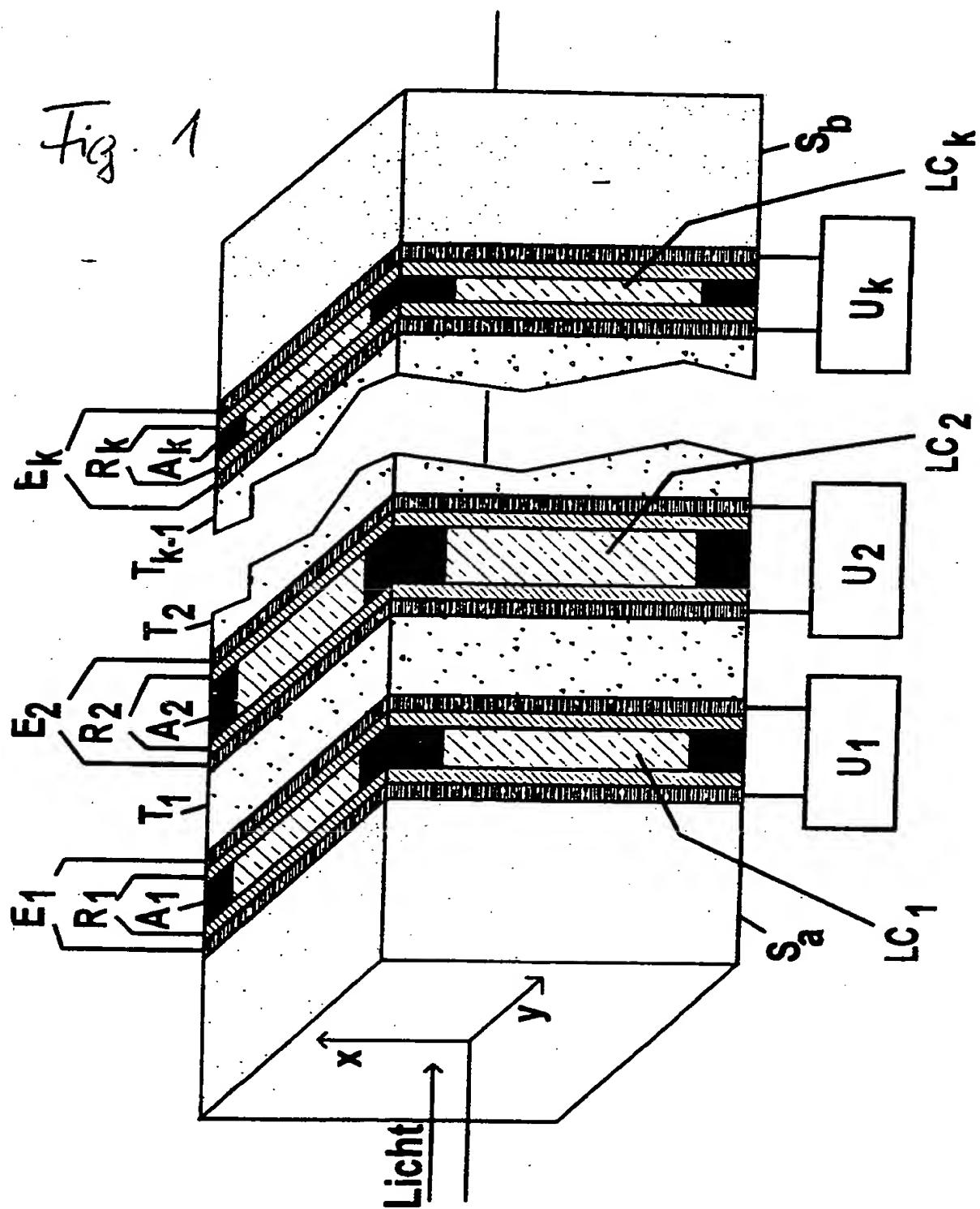
5 14. Achromatisches Phasenverzögerungselement nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Flüssigkristallschichten (LC_1 - LC_k) aus nematischen Flüssigkristallen gebildet sind.

10 15. Verfahren zur Herstellung eines achromatischen Phasenverzögerungselementes unter Verwendung von mehreren Flüssigkristallschichten, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen Substraten und Trennschichten Flüssigkristallschichten mit paralleler und orthogonaler Anordnung der schnellen Achsen von Paaren mit in einer Richtung geriebenen oder gebürsteten Orientierungsschichten eingefäßt werden, die die Orientierung der Flüssigkristalle bestimmen.

15 16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Orientierungsschichten mit auf Substraten und Trennschichten aufgedampften, elektrisch leitenden Elektrodenpaaren eingefäßt werden, an die eine Wechselspannung angelegt wird.

20

25



2 / 3

FIG. 2

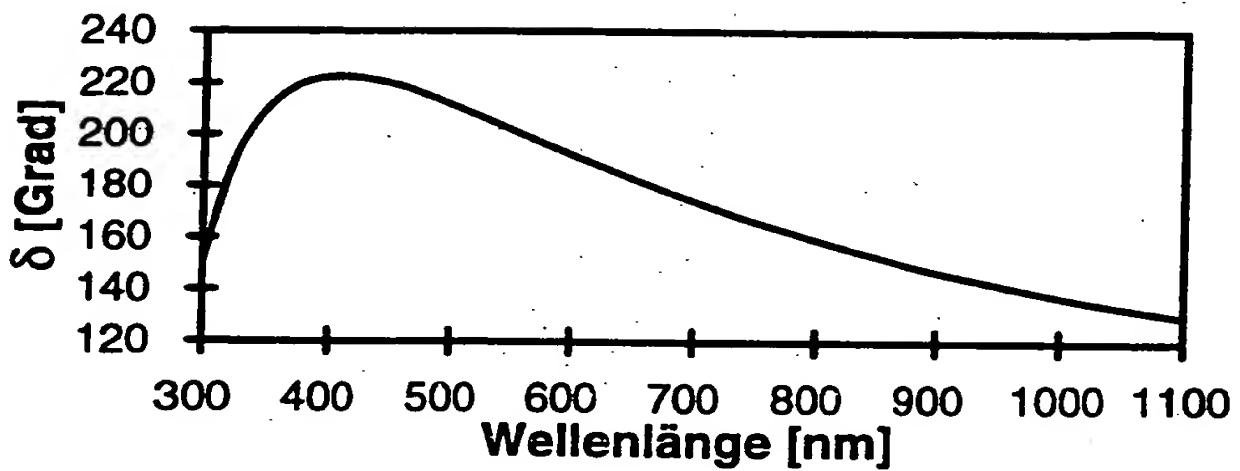
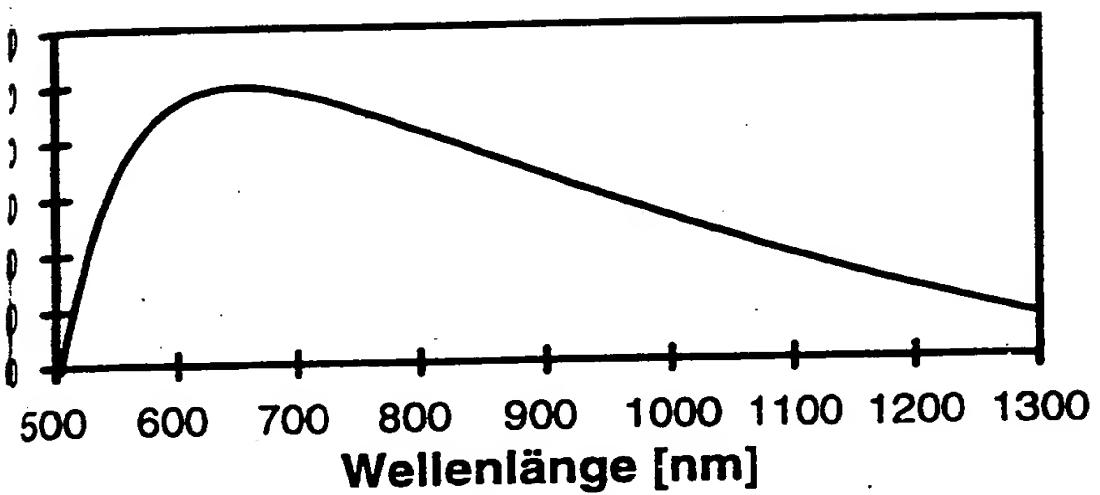


FIG. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 95/01363

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 G02F1/1347

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 G02F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US,A,5 347 382 (RUMBAUGH SCOTT H) 13 September 1994	15, 16
A	see column 4, last paragraph - column 5, paragraph 1 see column 7, paragraph 2 - column 8, paragraph 1; figure 9 ---	1, 3-12, 14
X	OPTICS LETTERS, 15 MAY 1994, USA, vol. 19, no. 10, ISSN 0146-9592, pages 758-760, STOCKLEY J E ET AL 'High-speed analog achromatic intensity modulator' cited in the application see page 759, right column; figure 1 ---	15
A	---	1, 3-6, 9, 10 -/-

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubt on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- *A* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 January 1996

Date of mailing of the international search report

02.02.96

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentzaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

W. Engel, H

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

National Application No
PCT/DE 95/01363

C(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE,A,42 31 390 (LICENTIA GMBH) 24 March 1994 see column 1, line 44 - line 63 ---	1
A	APPLIED OPTICS, 1 NOV. 1984, USA, vol. 23, no. 21, ISSN 0003-6935, pages 3911-3915, WU S -T ET AL 'Birefringence measurements of liquid crystals' see page 3914, right column, paragraph 2 - page 3915, left column, paragraph 2 -----	1,3-5,10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

National Application No

PCT/DE 95/01363

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US-A-5347382	13-09-94	NONE	
DE-A-4231390	24-03-94	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

nationales Aktenzeichen

PCT/DE 95/01363

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 G02F1/1347

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK.

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationsymbole)

IPK 6 G02F

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US,A,5 347 382 (RUMBAUGH SCOTT H) 13.September 1994	15, 16
A	siehe Spalte 4, letzter Absatz = Spalte 5, Absatz 1 siehe Spalte 7, Absatz 2 - Spalte 8, Absatz 1; Abbildung 9 ---	1, 3-12, 14
X	OPTICS LETTERS, 15 MAY 1994, USA, Bd. 19, Nr. 10, ISSN 0146-9592, Seiten 758-760, STOCKLEY J E ET AL 'High-speed analog achromatic intensity modulator' in der Anmeldung erwähnt siehe Seite 759, rechte Spalte; Abbildung 1 ---	15
A	---	1, 3-6, 9, 10 -/-

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- *' A' Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *' E' Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *' L' Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie zugeführt)
- *' O' Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Bemerkung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *' P' Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- *' T' Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- *' X' Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- *' Y' Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- *' A' Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

11.Januar 1996

Anmeldedatum des internationalen Recherchenberichts

02.02.96

Name und Postanschrift der Internationale Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.O. 5818 Patentamt 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Te. 31 651 epo nl.
Fax: (+ 31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Wongel, H

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

nationales Aktenzeichen
PCT/DE 95/01363

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der im Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE,A,42 31 390 (LICENTIA GMBH) 24.März 1994 siehe Spalte 1, Zeile 44 - Zeile 63 ---	1
A	APPLIED OPTICS, 1 NOV. 1984, USA, - Bd. 23, Nr. 21, ISSN 0003-6935, Seiten 3911-3915, WU S -T ET AL 'Birefringence measurements of liquid crystals' siehe Seite 3914, rechte Spalte, Absatz 2 - Seite 3915, linke Spalte, Absatz 2 -----	1,3-5,10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

nationales Aktenzeichen

PCT/DE 95/01363

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US-A-5347382	13-09-94	KEINE	-----
DE-A-4231390	24-03-94	KEINE	-----

- Leerseite -

THIS PAGE BLANK (USPTO)